

以風險評估與風險管理的角度看污染土地再利用的契機

許惠悰

中國醫藥大學健康風險管理系教授

摘 要

風險評估是國際間先進國家用來作為土壤污染土地再利用之政策工具，遭受污染的土地可以依據當地的現況及未來土地利用的規劃等條件，利用風險為基準的評估架構，找出可行的方案及整治的目標。本文以英國的污染源-傳輸途徑-受體的污染鏈關係模式，說明風險為基礎的土地再利用管理模式，介紹國內層次性的健康風險評估架構，檢討執行風險評估過程中應該注意的事項，以提供國內推動風險評估與風險管理於土壤污染及土地再利用政策參考。

關鍵字:健康風險評估、土地再利用、層次性風險評估、多暴露途徑、不確定性分析

一、前言

國內有關管理及整治土壤及地下水污染的法律，主要是根據民國 89 年 2 月 2 日通過之「土壤及地下水污染整治法」(以下簡稱土污法)。在該法下，對於土地及地下水的污染，訂定防治、調查評估、管制、整治復育措施及財務、責任、罰則等訂定了執行的程序。土污法規定，各地方主管機關應定期檢測轄區土壤及地下水品質狀況，若超過管制標準者，應採取必要的措施，追查污染責任。在查明污染來源明確的條件下，所在地主管機關應公告為土壤、地下水污染控制場址。又，控制場址經初步評估後，有危害國民健康及生活環境之虞時，則所在地主管機關應報請中央主管機關審核後公告為土壤、地下水污染整治場址。

前述控制場址是否劃為整治場址，主要的參考依據是以是否有危害國民健康作為判釋的標準之一。因此，在此精神下，國內引進了健康風險評估的政策工具，



期望利用健康風險評估的機制，分析及評估受污染的土壤及地下水對受體產生健康上負面影響的程度，以供決策單位參考。

目前全國經行政院環保署公告列為控制場址者有 752 個場址，而被列為整治場址者則有 22 個；其中有八個縣市被公告列為控制場址或整治場址之土地面積超過 45,000 平方公尺以上，這些縣市包括桃園縣、苗栗縣、彰化縣、台南縣、台南市、高雄縣、高雄市和屏東縣等（行政院環保署，2009）。對於土地資源本來就非常有限，人口密集程度又為全世界排名數一數二的台灣而言，這麼多土地的使用因為土壤及地下水污染的問題而受到限制及管制，在經濟學上確實是一種缺乏效率的資源配置。因此，如何替土地資源的使用尋找出路，如何為污染的土壤及地下水設計規劃整治的目標等，政策的推動方向是朝建立完善的健康風險評估機制，利用風險評估作為平台，將未來的不確定性，以土地使用的效益和使用後對人體健康的風險結合起來綜合考量。因此，本文嘗試從政策面和技術面來檢討健康風險評估與風險管理對於土地再利用這套機制的執行架構，以期對於執行上提供參考。

二、健康風險為基準的污染土地管理概念模式

根據 Pollard 等人(2004)的觀察，國際間對於遭受污染的土地之管理模式的演變，1970 年代是以成本為中心思維，1980 年代則改以技術可行性為本，發展到 1990 年代以後，健康風險評估的理論基礎逐漸成熟且開始蓬勃發展，以風險為基準的管理模式(risk-based management system)於是產生，並且逐漸應用在土壤及地下水污染的管理架構上。

英國是目前先進國家中採用風險為基準的架構來管理受污染的土地及地下水之使用的先驅者之一。英國於 1995 年所制定的環境法(Environment Act)之 Part 2A 中對於遭受污染的土地(contaminated land)之定義為：在地面或地下之物質，極有可能形成潛在性的危害。在此定義下，污染鏈的概念，也就是污染源-傳輸途徑-受體(source-pathway-receptor)的關係式於焉形成。所謂的污染源指的是土地裡的物質具有潛在性的危害，這種潛在性的危害透過環境直接或間接的傳輸途徑，將具有危害性的物質轉移至使用這塊土地或存在於這塊土地上的受體(DETR, 2000)。特別一提的是，在英國的環境法中，受體的範圍涵蓋人、生態系統和建築等。

建立起污染源-傳輸途徑-受體的污染鏈關係後，風險評估即可以根據這個關係鏈來確認這條鏈上的哪一個污染物質形成了顯著性的危害或負面影響。對於以人體健康作為風險的評估標的而言，主要就是衡量使用這塊土地後，污染物質透過各暴露途徑與人體產生接觸，進入人體的總暴露劑量是否會超過可接受的暴露劑量(acceptable intake level)。如果超過可接受的暴露劑量，表示土壤污染對於人體健康具有顯著性的風險。

因此，在人體接受暴露的劑量不致超過可接受暴露劑量的邏輯思考下，土壤污染的管理遂以此作為基準，以不致對人體的健康風險造成顯著性負面影響者作為管理的依據。於是，健康風險為基準的土地管理模式乃形成。

在英國的環境法 Part 2A 中，對於污染的土地是否適合再利用，其評估的準則不是以特定物質的土壤濃度作為評斷的依據，而是採取土地再利用適合性法則(suitable for use)，利用風險評估來分析個別場址在不同的土地利用型態、不同的地理條件狀況下，再利用的結果是否會導致受體接觸暴露污染物超過可接受劑量。如果超過，表示再利用的結果可能具有潛在性之危害，極有可能導致人體健康上負面的影響。

Honders 等人(2003)曾分析指出，歐盟國家中荷蘭對於遭受污染土地之政策在 1997 年後有了重大的轉變，過去荷蘭對於污染土地之再利用的判定是採取所謂的「多功能(multi-functional)」方法，對於土地再利用的復育程度是採取最高標準，亦即並不考慮技術的可行性和所需的成本多寡，在當時的政策要求是要將污染的土地整治到原來的用途。因此在該種情況下，根據荷蘭政府在 1980 年代初期的評估，整治所有被列管的土地費用約需高達 5,000 億歐元。對於這麼一大筆整治費用，幾乎是無法令人接受的負擔。因此，荷蘭政府在 1997 年調整管理策略，改採用效益主導模式，以風險為基準的整治策略來因應。

從歐盟國家中的發展脈絡裡，我們已經可以看到，對於土地使用密度高的國家而言，土壤及地下水遭受污染，採用風險為基準的管理策略，以風險的角度來評估及管理土地再利用的適合性，衡量污染整治的目標，是目前諸多先進國家共同發展的方向。

三、國內健康風險評估的執行架構

行政院環保署於民國 95 年完成「土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引」(以下簡稱風險評估指引)的編撰，國內應用健康風險評估的方



法到土壤及地下水污染場址的管理正式進入了實踐的階段。

在風險評估指引中，將風險評估的執行劃分成三個層次，三個層次由簡單到複雜，由假設的狀況至愈符合場址實際狀況的評估，如圖 1 所示(行政院環境保護署，2005)。各層次評估的過程中分別針對場址內與場址外，使用假設的暴露參數和採用現地的採樣資料，利用模式模擬之污染物濃度資料和現地採樣分析之濃度資料等，根據風險評估指引中建議之十種的暴露途徑，評估受體的暴露劑量，這十種途徑包括：

- (一) 誤食受污染土壤並經由口服吸收。
- (二) 受污染土壤經皮膚接觸並為受體吸收。
- (三) 飲用受污染地下水並經由口服吸收。
- (四) 使用受污染地下水作為洗澡用途，水中關切污染物汽化後經吸入吸收。
- (五) 使用受污染地下水作為日常清洗用途，水中關切污染物汽化後經吸入吸收。
- (六) 使用受污染地下水作為洗澡或日常清洗用途，水中關切污染物經皮膚接觸吸收。
- (七) 受污染土壤揚塵逸散至空氣中，並為受體所吸入吸收。
- (八) 受污染表層土壤中之關切污染物經汽化成蒸氣，並為受體所吸入吸收。
- (九) 受污染裡層土壤中之關切污染物經汽化成蒸氣，並為受體所吸入吸收。
- (十) 受污染地下水中之關切污染物經汽化蒸散至室外空氣中，並為受體所吸入吸收。

風險的評估即根據此估算受體的暴露劑量，並進行各暴露途徑之暴露劑量的加總，以求得受體之總非致癌風險和總致癌風險的大小。

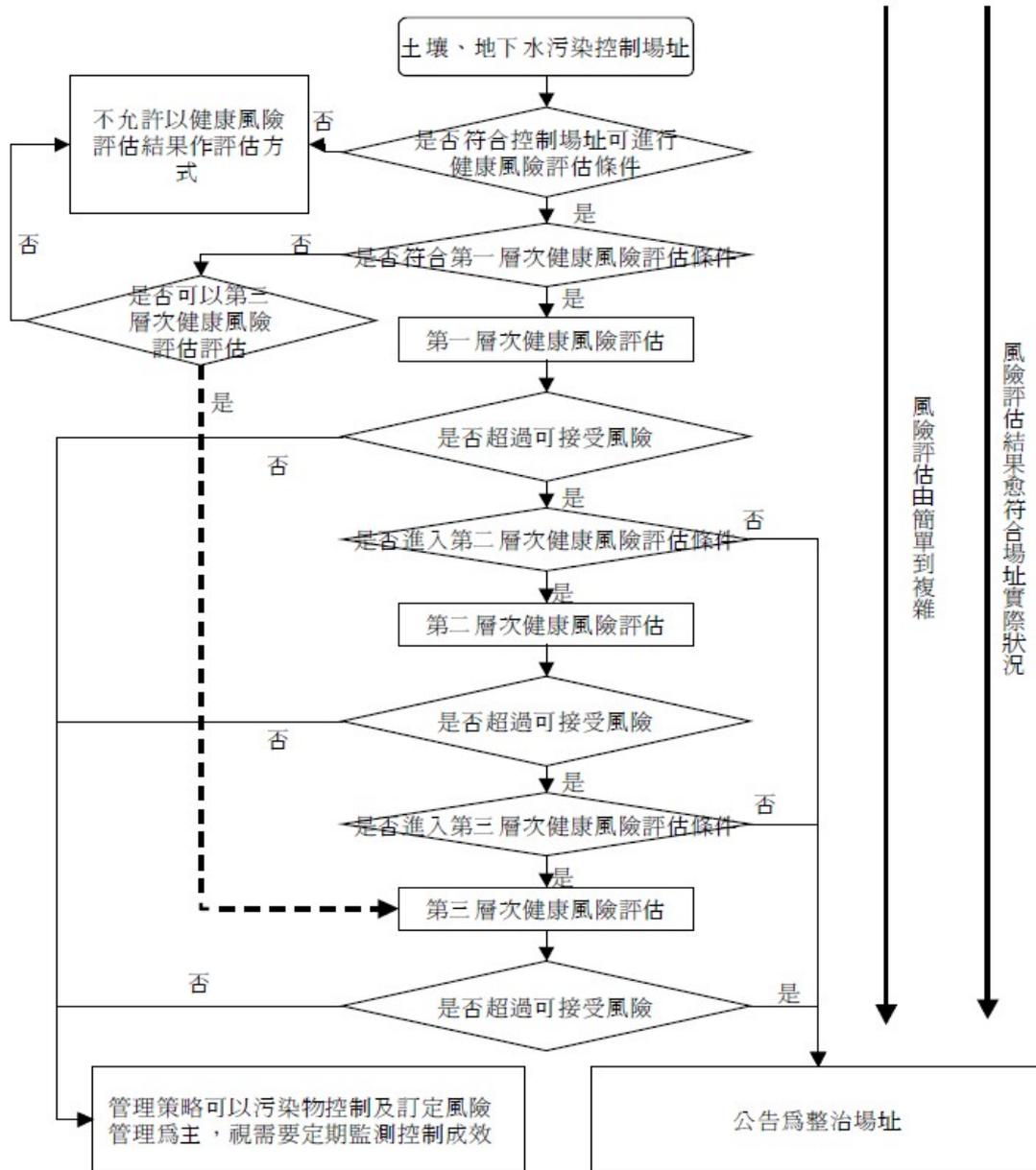


圖 1、行政院環保署建議之層次性健康風險評估架構

資料來源：行政院環境保護署(2005)

四、執行風險評估應注意的事項

風險評估雖然在政策上提供了土地再利用新的契機，讓遭受污染的土地可以依據當地的現況及未來土地利用的規劃等條件，利用風險為基準的評估架構，找出可行的方案及整治的目標。但是，在執行上我們還是要以保守謹慎的態度來面對這樣一個新的管理模式。下列幾點問題是執行風險評估者應該注意的事項：



（一）風險評估的結果之溝通與說明

風險評估的結果必須要與眾多不同背景的相關權益人進行溝通，這些權益人包括土壤污染附近的居民、環保團體、土地開發人、政府主管機關的代表、不同領域的學者專家等。每個人對於土地污染是否可以再利用各有其立場，各有其主觀的認知與認定標準，風險評估者要儘可能的說明風險評估執行過程的所有細節，將每一個步驟的來龍去脈交代清楚，如此可以減少因為不清楚所產生的認知差異，進而對評估的結果形成不信任感，甚至全盤否定評估的情形。美國環保署所編定之超級基金健康風險評估指引(Risk Assessment Guidance for Superfund)的第九章明列出審核健康風險評估文件的檢查表(USEPA, 1989)，有興趣的讀者可參考之。根據該檢查表的要項，核對評估的相關內容向相關權益人說明。

（二）交錯複雜的土地利用型態

台灣因為人稠地狹，我們的人口密度是世界第二，各種不同的土地利用型態，在空間之分佈上非常地不均，並且彼此交錯在一起，工廠的旁邊可能就有有人在種菜、生產稻米或者養殖水產。因此，一旦土壤或地下水遭受污染，間接暴露途徑可能發生，直接採用第三層次的健康風險評估之情形可能避免不了。換言之，風險評估中需要的相關資料將需較為完整，所需要的資訊亦較詳實，執行的經費與成本亦需較高。

（三）多污染源地帶的健康風險評估

土地利用的複雜高衍生的另外一個議題就是污染源的多重性問題。亦即，同一塊土地的污染問題可能面臨多種污染源同時皆有貢獻的情形。面對如此複雜的情境，風險評估者所要處理的風險包含既有的風險源和潛在的風險源的問題。所以，在評估上一定要能釐清各種污染物的污染源，如此才能在評估上對於既有的風險和潛在的風險以較為實際的情境假設進行模擬，分析受體的健康風險，評估污染土地的整治目標。

（四）可接受風險不代表「零風險」

風險評估的結果，如果在可接受的範圍內，在層次性的風險評估架構中指出，管理的策略是以污染物監控及訂定風險管理為主。這個意思就是說，雖然評估的結果表示目前的狀況風險是在可接受的範圍內，但是並不是代表受體的風險為零。所以，後續的相關作為，土地使用狀況，污染物的監控等作業，亦應持續的進行，方能讓風險持續地控制在可接受的範圍內。

（五）保守式具不確定性的評估

風險評估的結果並不是百分之百絕對的。評估分析的過程中，情境型的不確定性、變數型的不確定性、模型的不確定性等變異，會隨著評估的過程導入，並且反應到風險評估的結果中(許惠婷，2006)。換言之，風險評估者要儘可能的掌握評估過程中所有參數的變異範圍，以保守式的假設進行評估，利用機率風險的概念進行蒙特卡羅的模擬，以評估風險的機率分佈，掌握各種變異的狀況下對於風險變異的影響性。

除了上述在執行上的幾點應注意的問題外，執行風險評估是一項極具專業性的學問，風險評估與風險管理結合了環境、公共衛生、毒理、統計、管理等科學知識，因此，執行風險評估人才的養成與適任性，應該是推動此政策過程中不能忽略的議題。良善的政策如果缺乏了專業的人來執行，則評估出來的結果，如何讓人信服或接受。因此，風險評估的專業認證制度，應該是推動此機制中附帶一併要處理的工作要項。

五、結語

從世界先進國家對於土地污染的管理角度觀察，1990 年代以後，以風險為基準的管理模式已經是土壤及地下水污染控制，土地再利用的重要政策參考工具。因此，風險評估似乎是未來環境管理上很重要的政策工具。但是，執行風險評估是一項極具專業性的學問，結合了環境、公共衛生、毒理、統計、管理等科學知識，以處理高度複雜化的土地污染議題。所以，在此條件下，對於風險評估的結果之溝通說明、評估複雜的土地利用現況、多污染源的地帶、以保守式的情境模擬、結合不確定性分析等，皆為風險評估中需要注意的事項。而最重要的則是對於風險評估專業人才的培養與認證制度之建立，只有在專業的基礎上，以風險為基礎的管理制度才能上軌道，處理台灣複雜的土壤污染與土地再利用問題。

參考文獻

1. 行政院環境保護署(2009)，土壤及地下水污染整治網，
<http://sgw.epa.gov.tw/public/0401.asp>。
2. 行政院環境保護署(2006)，土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰



寫指引。

3. 許惠棕(2006), 風險評估與風險管理, 新文京開發出版股份有限公司, 第二版。
4. DETR (2000), DETR Circular 2/2000, Contaminated Land: Implementation of Part IIA of the Environmental Protection Act 1990. HMSO, Norwich.
5. Honders, A., Maas, T., Gadella, J.M. (2003), Ex-situ treatment of contaminated soil – The Dutch experience. Service Centrum Ground. The Hague, Netherlands.
6. National Research Council (1994), Science and judgment in risk assessment, National Research Council, Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants, National Academy Press: Washington, DC.
7. Pollard, S.J.T., Brookes, A., Earl, N., Lower, J., Kearney, T., Nathanail, C.P. (2004), Integrating decision tools for the sustainable management of land contamination, Science of the Total Environment 352: 15-28.
8. USEPA (1989), Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (PartA), EPA/540/1-89/002, Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C..